

**10. Workshop  
Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin vom  
29. bis 30. März 2012 in Aachen**



**„Künstliches Akkommodationssystem – Können alle  
mechatronischen Komponenten in den Kapselsack der  
Augenlinse integriert werden?“**

Liane Rheinschmitt, Thomas Martin, Jörg A. Nagel, Georg Bretthauer  
Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Informatik, Karlsruhe,  
Deutschland  
E-Mail: liane.rheinschmitt@kit.edu

Copyright: VDI Verlag GmbH  
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 „Automatisierungstechnische  
Verfahren für die Medizin“  
Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-  
Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-  
Hahn, Kirska Dannenberg  
ISBN: 978-3-18-328617-1  
Pages: 64-65

# Künstliches Akkommodationssystem – Können alle mechatronischen Komponenten in den Kapselsack der Augenlinse integriert werden?

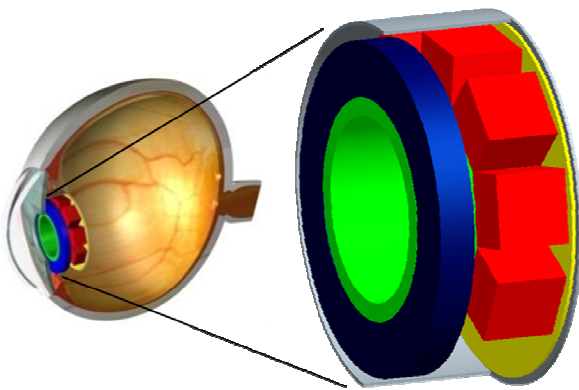
Liane Rheinschmitt, Thomas Martin, Jörg A. Nagel und Georg Bretthauer

Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Angewandte Informatik, Karlsruhe, Deutschland  
 Kontakt: liane.rheinschmitt@kit.edu

## Einleitung

Mit Hilfe der Akkommodation, der Brechkraftanpassung der Augenlinse, ist es dem Menschen möglich, auf verschieden weit entfernte Objekte zu fokussieren. Diese Fähigkeit lässt jedoch im Alter nach. Ist das Lesen ohne Hilfsmittel nicht mehr möglich, so leidet der Mensch an Alterssichtigkeit. Eine andere hauptsächlich im Alter auftretende Krankheit ist die Katarakt, ein Eintrüben der Linse, das auch als Grauer Star bezeichnet wird. Zur Behandlung der Katarakt wird die eingetrübte natürliche Linse entfernt und durch eine künstliche Intraokularlinse ersetzt, die die Transparenz wiederherstellt. Eine Akkommodation ist damit jedoch nicht möglich, da der Fokus einer solchen Linse jedoch nicht anpassbar ist.

Das Künstliche Akkommodationssystem ist ein Linsenimplantat, das auch die Akkommodationsfähigkeit wiederherstellen soll. Das autonom arbeitende mechatronische System erfasst über eine Sensorik den Akkommodationsbedarf, passt die Optik mit Hilfe eines Aktors entsprechend an, enthält eine Kommunikationsmöglichkeit nach außen und arbeitet energieautark [1, 2]. Das System wird vollständig in den Kapselsack der Linse implantiert, wodurch der Bauraum vorgegeben ist (Abb. 1).



**Abb. 1** Schematische Darstellung des Implantationsortes des Künstlichen Akkommodationssystems im Auge.

## Methoden und Materialien

Alle nicht-transparenten Bauteile müssen in dem Ringbauraum um den optischen Bereich von 5 mm Durchmesser platziert werden. Der Außendurchmesser des Implantats beträgt maximal 10 mm, die Höhe 4 mm. Der maximale Bauraum ergibt sich dabei für ein zylindrisches Implantat. Soll die Implantierbarkeit durch eine linsenförmige

ge Außengeometrie und eine Reduktion der äußeren Abmessungen verbessert werden, wird der zur Verfügung stehende Bauraum deutlich reduziert.

Für die Abschätzung des benötigten Volumens aller Subsysteme werden die folgenden Auslegungen herangezogen: Die Energieversorgung erfolgt induktiv mit Energiezwischenlagerung in einem Akkumulator, die für mindestens 24 Stunden den energieautarken Betrieb des Implantats ermöglicht [3]. Die Einstellung der Brechkraft wird mit einer Triple-Optik realisiert, einem Dreilinsensystem, bei dem eine Sammellinse zwischen zwei Zerstreuungslinsen entlang der optischen Achse verschoben wird [4]. Die Verschiebung der mittleren Linse wird dabei mit Hilfe eines Piezoaktors erreicht, dessen Stellweg über ein Siliziumkoppelgetriebe verstärkt wird [5]. Für den Aktor ist eine entsprechende Ansteuerung erforderlich [6]. Die anderen elektronischen Bauteile sind bereits in einem ersten Schaltungsentwurf für das Künstliche Akkommodationssystem integriert [7]. Das gesamte System wird mit Hilfe eines Glasgehäuses gekapselt [8].

Das Volumen, das die genannten Subsysteme benötigen, wird im Folgenden für drei verschiedene Entwicklungsgrade betrachtet:

1. Weitgehend mit derzeit kommerziell verfügbaren Bauteilen realisierbar
2. Derzeit technologisch realisierbar, d.h. beispielsweise für vergleichbare Produkte bereits umgesetzt
3. Zukünftig durch die Weiterentwicklung der einzelnen Technologien sowie durch individuelle Anpassung der Komponenten an die Anforderungen des Implantats voraussichtlich erzielbar.

## Ergebnisse

In Abb. 2 ist das benötigte Volumen der nicht-transparenten Subsysteme für die drei genannten Entwicklungsgrade aufgetragen. Die einzelnen Bauteile sind dabei zusammengefasst in die Teilbereiche Energiespeicher, Elektronik, Aktorik und Glasgehäuse. Der zur Verfügung stehende Bauraum im Ring um die Optik ist für ein zylindrisches sowie ein linsenförmiges Implantat mit dem jeweiligen Außendurchmesser  $d_a$  dargestellt.

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, dass bei einem Einsatz von derzeit kommerziell verfügbaren Bauteilen selbst der maximal zur Verfügung stehende Bauraum um mehr als das Vierfache überschritten wird. Werden die technologischen Möglichkeiten zur Volumenreduktion beispielsweise für die Elektronik durch den Einsatz von un-

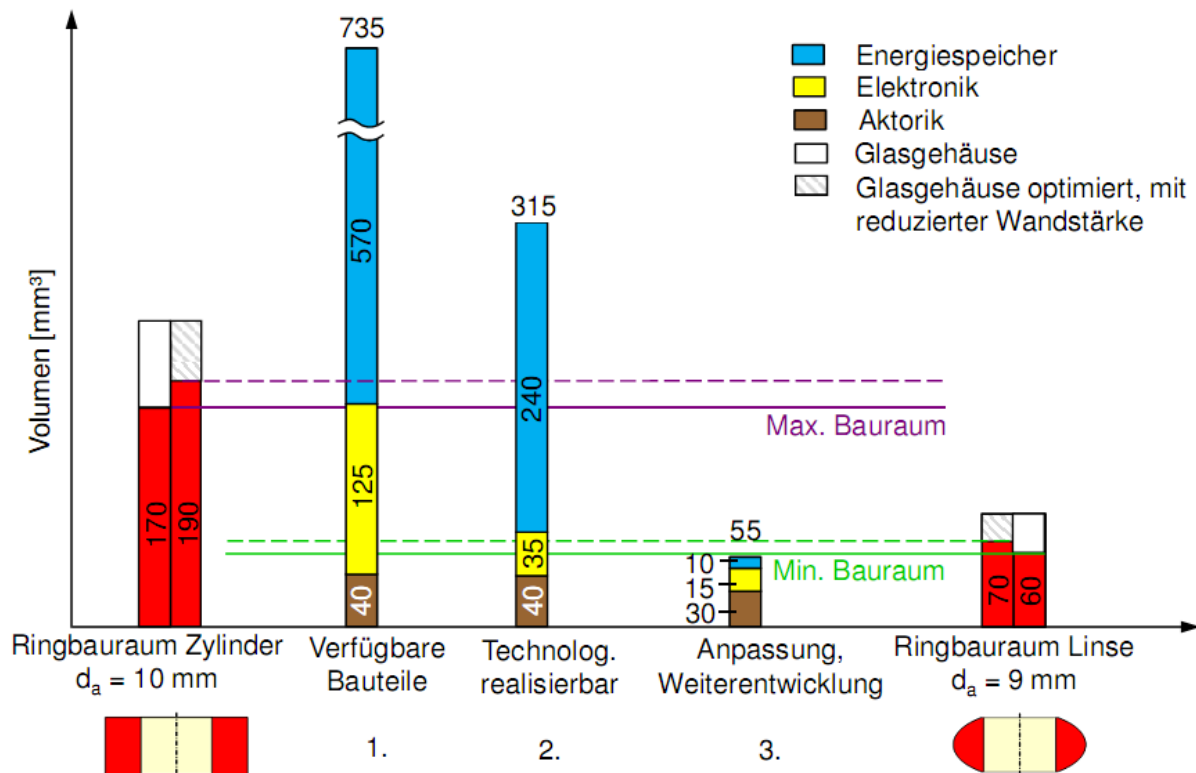
gehäusten Siliziumhalbleiterchips und raumsparender Aufbau- und Verbindungstechnik genutzt, so kann das benötigte Volumen deutlich reduziert werden. Um jedoch alle Bauteile in den zur Verfügung stehenden Bauraum integrieren zu können, ist weitere Forschungs- und Entwicklungsarbeit im Bereich aller Subsysteme erforderlich. Für den Energiespeicher wurde bereits eine individuelle Anpassung an die Anforderungen des Implantats durchgeführt: Durch die Implementierung eines intelligenten Energiemanagements konnte der Energiebedarf und somit der Bauraumbedarf für den Energiespeicher auf ca. ein Sechstel gesenkt werden. Zur Integration des Speichers in ein linsenförmiges Implantat ist zudem eine technologische Weiterentwicklung erforderlich. Auch für das Glasgehäuse soll die Technologie bezüglich der Wandstärkenreduktion weiter optimiert werden.

## Schlussfolgerungen

Der anatomisch begrenzte Bauraum ist eine der wesentlichen Herausforderungen bei der Entwicklung des Künstlichen Akkommodationssystems. Die Integration aller Subsysteme ist möglich, wenn jedes Subsystem individuell angepasst und technologisch weiterentwickelt wird.

## Literatur

- [1] GENGENBACH, U.; BRETTHAUER, G.; GUTHOFF, R.: Künstliches Akkommodationssystem auf Basis von Mikro- und Nanotechnologie. In *Mikrosystemtechnik-Kongress 2005*, VDE-Verlag, 2005, S. 411-414
- [2] BRETTHAUER, G.; GENGENBACH, U.; GUTHOFF, R. F.: Mechatronic Systems to Restore Accommodation. In: *Nova Acta Leopoldina NF 111* (2010), Nr. 379, S. 167-175
- [3] NAGEL, J. A.; KRUG, M.; GENGENBACH, U.; GUTH, H.; BRETTHAUER, G.; GUTHOFF, R. F.: Optimal Secondary Coil Design for Inductive Powering of the Artificial Accommodation System. In: *EMBC 2011 – 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011, S. 2905-2908
- [4] BERGEMANN, M.; SIEBER, I.; BRETTHAUER, G.; GUTHOFF, R. F.: Triple-Optic-Ansatz für das künstliche Akkommodationssystem. In: *Ophthalmologie 4* (2007), S. 311-316
- [5] MARTIN, T.; GENGENBACH, U.; RUTHER, P.; PAUL, O.; BRETTHAUER, G.: Silicon Linkage With Novel Compliant Mechanism for Piezoelectric Actuation of an Intraocular Implant. In: *The 16th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems - Transducers'11*, Peking, China, Juni 2011, S. 1480-1483
- [6] BABLER, M.: *Entwicklung einer energieeffizienten Ansteuerung von piezoelektrischen Aktoren für den Einsatz in einem mechatronischen Implantat*, Karlsruher Institut für Technologie, Bachelorarbeit, 2010
- [7] RHEINSCMITT, L.; NAGEL, J. A.; GENGENBACH, U.; BRETTHAUER, G.: First Circuit Design for the Artificial Accommodation System. In: *BMT 2011 – Tagung der Biomedizinischen Technik*, Freiburg, Oktober 2011
- [8] RHEINSCMITT, L.; GENGENBACH, U.; BRETTHAUER, G.; GUTHOFF, R. F.: Kapselung eines mechatronischen Systems zur Wiederherstellung der Akkommodationsfähigkeit. In: *Klinische Monatsblätter der Augenheilkunde 227* (2010), S. 926-929



**Abb. 2** Abschätzung der benötigten Volumina für die verschiedenen nicht-transparenten Subsysteme des Künstlichen Akkommodationssystems, integriert in den vorhandenen Ringbaurraum des Implantats bei unterschiedlichen Gehäusegeometrien.